

机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗儿童 Delbet II 型及 III 型股骨颈骨折



全文二维码

郑育耿¹ 马洪² 李留阳¹ 陈泳格² 柯华荣² 曾钰淇¹ 李伟强² 郭跃明²¹ 广州中医药大学第八临床医学院, 佛山 528000; ² 广州中医药大学附属佛山市中医院小儿骨科, 佛山 528000

通信作者: 郭跃明, Email: guo_yueming2008@126.com

【摘要】 目的 初步分析应用机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗儿童 Delbet II 型及 III 型股骨颈骨折的临床效果。**方法** 本研究为回顾性研究, 以 2018 年 1 月至 2022 年 2 月在广州中医药大学附属佛山市中医院小儿骨科住院治疗的 54 例(54 髋) 儿童股骨颈骨折患者为研究对象, 收集患儿一般资料(包括性别、年龄、患侧、骨折分型、受伤至手术的时间、随访时间等)。根据手术方式将患儿分为观察组和对照组, 观察组接受机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗, 对照组接受传统闭合复位内固定术治疗; 收集两组患儿手术时长、术中穿针次数、术后第 1 次 X 线复查时置入螺钉与股骨颈干角的偏离角度、螺钉间平行度、末次随访时疗效以及随访期间并发症情况。**结果** 共 54 例(54 髋) 患儿纳入本研究并获得随访, 其中观察组 26 例, 对照组 28 例, 两组患儿一般资料、平均手术时长差异无统计学意义($P > 0.05$)。观察组术中穿针次数 $[4.15 \pm 1.74]$ 次明显少于对照组 $[10.93 \pm 2.91]$ 次, 差异有统计学意义($t = -10.301, P < 0.05$); 术后第 1 次 X 线复查时置入螺钉与股骨颈干角的偏离角度 $[0.87^\circ (0.51^\circ, 1.53^\circ)]$ 优于对照组 $[3.57^\circ (2.45^\circ, 5.57^\circ)]$, 差异有统计学意义($Z = -5.523, P < 0.05$); 观察组螺钉间的平行度 $[0.93^\circ (0.52^\circ, 1.65^\circ)]$ 优于对照组 $[2.44^\circ (1.50^\circ, 3.13^\circ)]$, 差异有统计学意义($Z = -4.025, P < 0.05$); 末次随访时依照 Ratliff 标准, 观察组(优 20 例, 良 3 例, 差 3 例)与对照组(优 17 例, 良 6 例, 差 5 例)疗效差异无统计学意义($\chi^2 = 1.671, P > 0.05$); 随访期间观察组并发症的发生率 $[23.1\% (6/26)]$ 低于对照组 $[39.3\% (11/28)]$, 但差异无统计学意义($\chi^2 = 1.642, P > 0.05$)。**结论** 应用机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗儿童股骨颈骨折可以减少术中穿针次数, 提高置钉的准确性, 置钉效果更满意, 可取得良好的治疗效果。

【关键词】 股骨颈骨折; 机器人手术; 骨折闭合复位; 骨折固定术, 内; 儿童

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202303002-013

Closed reduction and internal fixation for Delbet type II/III femoral neck fractures in children assisted by surgical robotic system

Zheng Yugeng¹, Ma Hong², Li Liuyang¹, Chen Yongge², Ke Huarong², Zeng Yuqi¹, Li Weiqiang², Guo Yueming²¹ College VIII of Clinical Medicine, Guangzhou University of Chinese Medicine, Foshan 528000, China; ² Department of Pediatric Orthopedics, Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Foshan 528000, China

Corresponding author: Guo Yueming, Email: guo_yueming2008@126.com

【Abstract】 Objective To evaluate the clinical effect of closed reduction and internal fixation surgery for the treatment of Delbet type II and III femoral neck fractures in children assisted by surgical robotic system.
Methods A total of 54 children (54 hips) with femoral neck fracture who were hospitalized in Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine from January 2018 to August 2022 were enrolled in this study. The general clinical data of the patients were recorded, such as follow-up time, gender, age, affected side, fracture classification, the time from injury to surgery, and the above data were statistically analyzed. Patients were divided into the observation group and the control group according to different surgical methods. The observation group underwent robot-assisted closed reduction and internal fixation surgery, while the control group underwent traditional closed reduction and internal fixation surgery. The duration of operation, the guide needle threading times, the deviation angle between the inserted screws and the femoral neck-shaft angle, the parallelism between the inserted

screws, the therapeutic effect was evaluated at the last follow-up, and the occurrence of complications were statistically analyzed in the two groups. **Results** A total of 54 cases (54 hips) were included in this study and followed up, with 26 cases in the observation group and 28 cases in the control group. There was no statistically significant difference in the general clinical data between the two groups ($P > 0.05$). There was no significant difference in the average operation duration between the two groups ($P > 0.05$). The average guide needle threading times in observation group (4.15 ± 1.74) was significantly lower than that in control group (10.93 ± 2.91), the difference was statistically significant ($t = -10.301, P < 0.05$). The deviation angle between the inserted screws and the femoral neck-shaft angle on the first postoperative X-ray in the observation group 0.87° ($0.51^\circ, 1.53^\circ$) was better than that in the control group 3.57° ($2.45^\circ, 5.57^\circ$), the difference was statistically significant ($Z = -5.523, P < 0.05$). The parallelism between screws on the first postoperative X-ray in the observation group 0.93° ($0.52^\circ, 1.65^\circ$) was better than that in the control group 2.44° ($1.50^\circ, 3.13^\circ$), the difference was statistically significant ($Z = -4.025, P < 0.05$). At the last follow-up, according to Ratliff criteria, there was no significant difference ($\chi^2 = 1.671, P > 0.05$) in the treatment effect between the observation group (excellent 20 cases, good 3 cases, poor 3 cases) and the control group (excellent 17 cases, good 6 cases, poor 5 cases). During the follow-up period, the incidence of complications in the observation group was 23.1% (6/26), which was lower than 39.3% (11/28) in the control group, but the difference was no statistical significance ($\chi^2 = 1.642, P > 0.05$). **Conclusions** The closed reduction and internal fixation surgery assisted by surgical robotic system in the treatment of femoral neck fractures in children can reduce the guide needle threading times, improve the accuracy of screws placement, and achieve good therapeutic effect.

【Key words】 Femoral Neck Fractures; Robotic Surgical Procedures; Closed Fracture Reduction; Fracture Fixation, Internal; Child

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202303002-013

儿童股骨颈骨折多由高处坠落或交通事故等高能损伤导致,也可由病理性骨折引起,在儿童损伤骨折中相对少见,约占所有儿童骨折的1%^[1-2]。由于儿童股骨颈的血液供应与成人有所不同以及股骨头骨骺的存在,因此儿童股骨颈骨折经治疗后仍有较高的并发症发生率,常见并发症主要包括股骨头坏死、髋内翻畸形、骨骺早闭等^[3]。根据骨折的解剖位置,Delbet 将儿童股骨颈骨折分为四型,其中 Delbet II 型为经颈型骨折(即骨折线通过股骨颈中部),是儿童股骨颈骨折中最常见的骨折类型,占儿童股骨颈骨折的40%~50%;其次为 Delbet III 型,占儿童股骨颈骨折的25%~35%,该型骨折表现为骨折通过股骨颈的基底部,又称股骨颈基底型骨折^[4]。Delbet II 型和 III 型骨折常发生移位,且股骨头坏死的发生率较高^[5]。目前临床上关于儿童股骨颈骨折的治疗尚未达成共识,通常无论骨折有无移位多采取手术治疗,目的是尽量达到解剖复位且维持稳定固定^[6-7]。闭合复位内固定术是较易被患儿家长接受的手术方式,具有创伤小、操作方便等优势。但由于儿童股骨颈的横截面积较小,螺钉置入较成人困难,对医师的操作技术和经验要求较高。近年来随着计算机和自动化技术的迅速发展,机器人被广泛应用于社会生产实践中,

外科领域亦引入了机器人辅助完成手术。骨科手术机器人辅助手术以精准、微创、智能化等特点显示出其独特的技术优势,是目前骨科临床治疗的重要发展方向^[8]。本研究旨在初步评价机器人手术系统辅助治疗儿童股骨颈骨折的应用价值。

资料与方法

一、研究对象及分组

以2018年1月至2022年2月于广州中医药大学附属佛山市中医院小儿骨科住院治疗的儿童股骨颈骨折患儿为研究对象。病例纳入标准:①根据病史、临床表现以及X线、CT等影像学检查确诊为外伤性股骨颈骨折 Delbet II 型或 III 型,年龄不超过16岁;②行机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗或传统闭合复位内固定术治疗,且置入空心钉数量为2枚;③术后接受随访至少12个月。排除标准:①病理性骨折、开放性骨折、陈旧性骨折;②合并先天性下肢畸形、功能障碍等;③既往髋部损伤;④随访期间再次发生其他严重损伤。记录纳入病例的一般资料(包括随访时间、性别、年龄、患侧、骨折分型、受伤至手术的时间)。本研究中患儿所接受手术方式均与患儿家长详细沟通之后由家

长自行选择。根据临床资料中记录的不同手术方式将患儿分为观察组和对照组。接受机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗的患儿纳入观察组,接受传统闭合复位内固定术治疗的患儿纳入对照组。本研究经广州医科大学附属佛山市中医院伦理委员会审核批准(KY【2023】112),患儿家长均知情同意并签署知情同意书。

二、治疗方法

(一)闭合手法复位

患儿仰卧于牵引床上,全身麻醉后行气管插管。经患肢牵引、轻度外展内旋后,观察复位是否满意。若骨折移位严重,则先屈髋屈膝 90°向上牵引,再内旋、伸髋伸膝、外展,最后保持轻度外展内旋位牵引患肢。在 C 型臂 X 光机透视下检查股骨颈复位满意后,消毒患肢,铺无菌巾,暴露术区。

(二)传统徒手置钉

分别用 2 枚导针于患髋外侧沿股骨颈方向平行进针,进行开孔及定位。在 C 型臂 X 光机透视下见导针位置满意后,测量置钉长度,分别置入 2 枚空心钉固定骨折,退出导针。于 C 型臂 X 光机透视下检查患髋正侧位,确定置钉满意以及骨折复位固定稳定后,冲洗、缝合切口,外敷无菌敷料。

(三)机器人手术系统辅助置钉

先于患侧髂前上棘处做一长约 0.5 cm 切口,经髂前上棘钻入 1 枚螺纹钉,放置示踪器,再通过 C 型臂 X 光机获取患髋标准正侧位透视图像,传输至“天玑”机器人电脑系统,定位患侧髋关节,在系统中规划置钉路径,测量拟置入空心钉的长度(图 1)。完成设定后,由“天玑”机器人机械臂引导进针点,于进针点切开皮肤,沿机器人机械臂引导方向放置套筒,钻入导针,在 C 型臂 X 光机透视下检查导针位置及深度适宜后,测量长度,分别置入 2 枚空心钉固定骨折,退出导针。于 C 型臂 X 光机透视下检查患髋正侧位(图 2),确定置钉满意以及骨折复位固

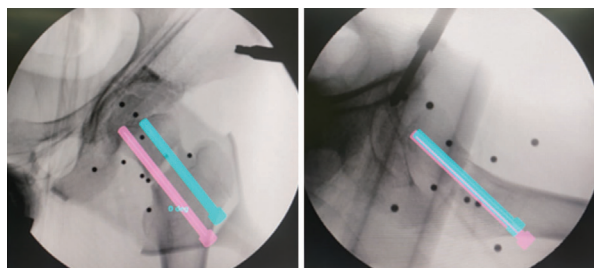


图 1 股骨颈骨折机器人手术系统辅助闭合复位内固定术中螺钉通道规划图

Fig. 1 Planning diagram of path of screws during closed reduction and internal fixation assisted by robotic surgical system for femoral neck fracture

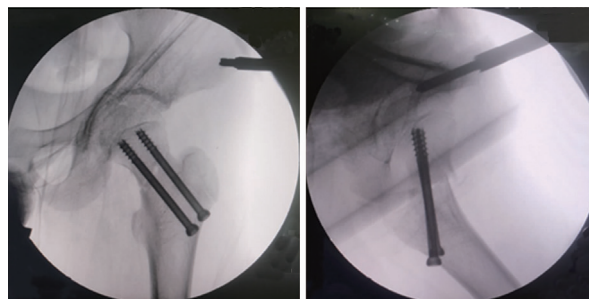


图 2 股骨颈骨折机器人手术系统辅助闭合复位内固定术中螺钉置入后 X 线透视图像

Fig. 2 Fluoroscopic images after screw placement in closed reduction and internal fixation assisted by robotic surgical system for femoral neck fracture

定稳定后,冲洗、缝合关闭伤口,外敷无菌敷料。本研究所用手术机器人为北京天智航医疗科技股份有限公司推出的天玑骨科手术机器人第一代。

(四)术后处理

患儿术后佩戴髋部支具,指导进行床上下肢肌肉收缩等功能锻炼。术后 6~8 周复查髋部 X 线片,视骨折愈合情况拆除支具固定。术后 12 周依据随访情况指导患儿在辅助器械下练习非负重下地活动,直至完全负重。

三、观察指标

根据手术记录收集观察组和对照组的手术时长、术中穿针次数并进行对比分析。观察术后第 1 次 X 线复查时置入螺钉与股骨颈干角的偏离角度和螺钉间平行度。测量方法如下:在髋部 X 线正位片上测量股骨颈干角 θ ,测量股骨干纵轴线与各螺钉纵轴线之间所形成的夹角,得到角 α_1 、角 α_2 ,偏离角度 = $(|\theta - \alpha_1| + |\theta - \alpha_2|)/2$,平行度 = $|\alpha_1 - \alpha_2|$ 。末次随访时依照 Ratliff 评估标准对临床及影像学表现进行评估(表 1)^[2]。随访期间观察有无股骨头缺血性坏死、髋内翻、感染、骨延迟愈合、骨骺早闭等并发症。

表 1 Ratliff 评估标准

Table 1 Ratliff evaluation criteria

指标	优	良	差
疼痛	无或可忽略不计	偶发疼痛	严重疼痛
髋关节活动度	无明显活动受限	活动受限不超过 50%	活动受限超过 50%
运动能力	正常或避免剧烈活动	正常或避免剧烈活动	运动能力受限
影像学表现	正常或股骨颈轻度畸形	股骨颈严重畸形,轻度缺血性坏死	股骨颈严重缺血性坏死,退行性关节炎,关节融合

四、统计学处理

应用 SPSS 22.0 进行统计分析。随访时间、年龄、受伤至手术的时间、手术时长、穿钉次数等服从正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验;置入螺钉偏离角度、螺钉间平行度等计量资料不服从正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用秩和检验;性别、侧别、Delbet 分型、基于 Ratliff 标准的评价结果、并发症等计数资料以频数、构成比表示,采用 χ^2 检验进行组间比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组患儿一般资料比较

共有 54 例(54 髋)纳入本研究并获得随访。观察组 26 例,男 17 例,女 9 例;年龄 (11.35 ± 3.17) 岁;左髋 12 例,右髋 14 例;Delbet II 型 18 例,Delbet III 型 8 例。受伤至手术的时间为 (4.27 ± 1.78) d,随访时间 (23.46 ± 9.07) 个月。对照组 28 例,男 18 例,女 10 例;年龄 (11.18 ± 3.19) 岁;左髋 16 例,右髋 12 例;Delbet II 型 21 例,Delbet III 型 7 例;受伤至手术时间 (4.36 ± 1.81) d,随访时间 (24.89 ± 7.43) 个月。两组患儿一般资料比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

二、两组患儿手术情况比较

观察组手术时长为 (96.88 ± 9.93) min,对照组手术时长为 (99.18 ± 10.19) min,差异无统计学意义($P > 0.05$);观察组穿针次数为 (4.15 ± 1.74) 次,对照组穿针次数为 (10.93 ± 2.91) 次,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。

三、两组 X 线复查结果及疗效比较

观察组和对照组术后第 1 次 X 线复查时置入螺钉与股骨颈干角的偏离角度中位数分别为 0.87° 和 3.57° ,差异有统计学意义($Z = -5.523, P < 0.05$);观察组和对照组的螺钉间平行度中位数分别为 0.93° 和 2.44° ,差异有统计学意义($Z = -4.025,$

$P < 0.05$)。见表 4。

末次随访时依照 Ratliff 评估标准,观察组疗效优 20 例(20/26, 76.9%),良 3 例(3/26, 11.5%),差 3 例(3/26, 11.5%);对照组优 17 例(17/28, 60.7%),良 6 例(6/28, 21.4%),差 5 例(5/28, 17.9%);两组疗效差异无统计学意义($\chi^2 = 1.671, P > 0.05$)。见表 5。

四、两组并发症情况比较

随访期间观察组 6 例发生股骨头坏死,发生率为 23.1%(6/26)。对照组 11 例发生股骨头坏死,发生率为 39.3%(11/28),其中 1 例为术后 2 周发生骨折再移位,予取出内固定、重新复位内固定处理,后期随访中发现股骨头坏死。两组随访期间均无一例发生感染、骨折延迟愈合、髓内翻等其他并发症。两组股骨头坏死的发生率比较,差异无统计学意义($\chi^2 = 1.642, P > 0.05$)。两组典型病例照片见图 3、图 4。

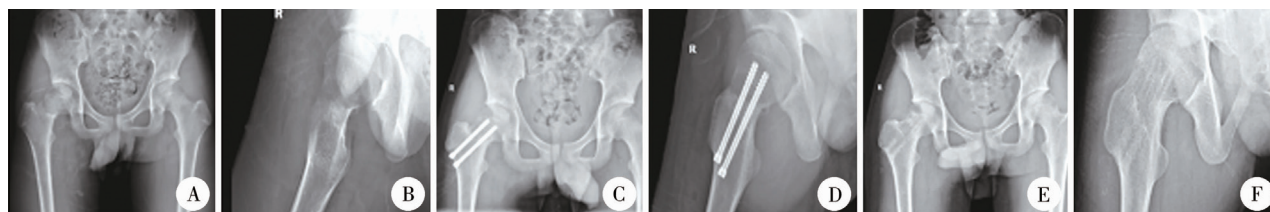
讨 论

儿童股骨颈的解剖特点不同于成人,其结构较成人坚固且周围有坚韧的骨膜保护,该处发生骨折通常是由于高处坠落或交通事故等高能量损伤^[1-2,9]。虽然股骨颈骨折对于儿童人群是一种较罕见的损伤,但其易出现严重并发症,如股骨头缺血坏死、髓内翻、骨骺早闭等,有长期潜在的致残风险^[3,7,10]。其中股骨头坏死是儿童股骨颈骨折最常见和最严重的并发症,直接影响患儿预后^[11]。本研究纳入的 54 例患儿中,17 例出现股骨头坏死,均采用闭合复位内固定术,对照组所用传统闭合复位内固定术置钉往往需要反复调整进针方向方可获得满意的置钉效果。观察组在机器人导航下辅助置钉能最大限度避免人为误差,减少穿针次数。本研究中,观察组穿针次数显著少于对照组。理论上反复穿针操作会加重股骨颈损伤,还可能出现克氏针穿过股骨颈骨皮质的情况,造成关节内出血增多,

表 2 两组股骨颈骨折患儿一般资料比较

Table 2 Comparing general profiles of children with femoral neck fracture between two groups

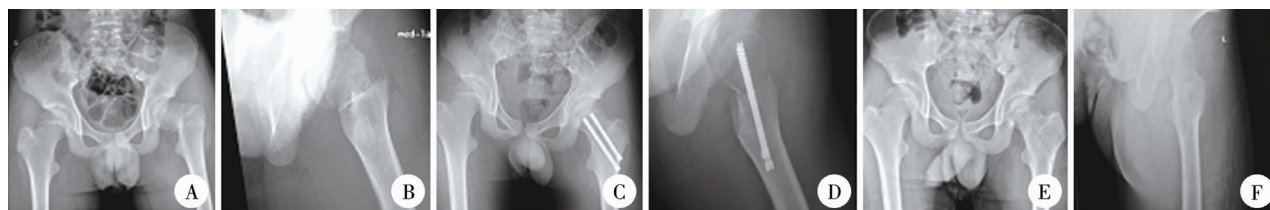
分组	随访时间 ($\bar{x} \pm s$, 月)	性别(例)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	受伤侧别(例)		Delbet 分型(例)		受伤至手术的时间 ($\bar{x} \pm s$, d)
		男	女		左	右	II 型	III 型	
观察组($n=26$)	23.46 ± 9.07	17	9	11.35 ± 3.17	12	14	18	8	4.27 ± 1.78
对照组($n=28$)	24.89 ± 7.43	18	10	11.18 ± 3.19	16	12	21	7	4.36 ± 1.81
统计值	$t = -0.636$	$\chi^2 = 0.007$		$t = 0.193$	$\chi^2 = 0.652$		$\chi^2 = 0.224$		$t = -0.180$
P 值	0.527	0.933		0.847	0.419		0.636		0.858



注 患儿男,14 岁,高处跌落致右侧 Delbet II 型股骨颈骨折。A、B 为术前髋部正侧位 X 线片; C、D 为术后第 1 次复查髋部正侧位 X 线片; E、F 为术后 24 个月拆除内固定后髋部正侧位 X 线片

图 3 观察组股骨颈骨折患儿手术前后及拆除内固定后 X 线片

Fig. 3 X-ray of children with femoral neck fracture before and after operation and removal of internal fixation in observation group



注 患儿男,13 岁,高处跌落致左侧 Delbet III 型股骨颈骨折。A、B 为术前髋部正侧位 X 线片; C、D 为术后髋部正侧位 X 线片; E、F 为术后 24 个月拆除内固定后髋部正侧位 X 线片

图 4 对照组股骨颈骨折患儿手术前后及拆除内固定后 X 线片

Fig. 4 X-ray of children with femoral neck fracture before and after operation and removal of internal fixation in control group

表 3 两组股骨颈骨折患儿平均手术时长及穿针次数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparing average operative duration and threading frequency of guide needle between two groups with femoral neck fracture($\bar{x} \pm s$)

分组	手术时长 (min)	穿针次数 (次)
观察组 ($n=26$)	96.88 ± 9.93	4.15 ± 1.74
对照组 ($n=28$)	99.18 ± 10.19	10.93 ± 2.91
t 值	-0.837	-10.301
P 值	0.407	<0.001

表 4 两组股骨颈骨折患儿术后第 1 次 X 线复查时置入螺钉位置的比较 [$M(Q_1, Q_3), ^\circ$]

Table 4 Comparing screws placement on the first postoperative radiography between two groups with femoral neck fracture [$M(Q_1, Q_3), ^\circ$]

分组	偏离角度	平行度
观察组 ($n=26$)	0.87 (0.51, 1.53)	0.93 (0.52, 1.65)
对照组 ($n=28$)	3.57 (2.45, 5.57)	2.44 (1.50, 3.13)
Z 值	-5.523	-4.025
P 值	<0.001	<0.001

表 5 观察组和对照组末次随访时按照 Ratliff 评估标准的疗效比较 (例)

Table 5 Efficacy comparing between observation and control groups according to Ratliff criteria at the last follow-up (n)

分组	优	良	差
观察组 ($n=26$)	20	3	3
对照组 ($n=28$)	17	6	5
χ^2 值	1.671		
P 值	0.434		

导致关节囊内压力增高,进而影响股骨头的血液供应,增加股骨头坏死的发生风险^[12]。

尽管目前对于儿童股骨颈骨折的治疗时机、治疗方式、手术入路及固定方式等仍存在争议,但在治疗原则及目标上是一致的,即实现解剖复位和维持稳定固定^[7,13]。Delbet II 型和 III 型骨折相对不稳定,有文献指出不推荐使用保守治疗,以避免发生骨折再移位^[14-15]。在手术治疗中,选择切开复位内固定术还是闭合复位内固定术主要取决于骨折移位的程度以及实现闭合解剖复位的难度,当出现严重移位或反复闭合复位失败时,通常选择切开复位的方式^[13]。闭合复位内固定术具有创伤小、操作方便等优势;因此当闭合复位后骨折复位效果满意时,采用闭合复位内固定的方式更易被患儿家长接受。但传统闭合复位内固定需要徒手定位操作,常受到医师经验的影响;另外儿童股骨颈横断面积较小,亦影响了传统徒手定位的置钉效果,导致需要反复调整穿针操作以获得满意的置钉效果,并且需要增加术中透视次数。本研究中观察组应用机器人手术系统辅助导航定位,解决了闭合复位内固定术治疗儿童股骨颈骨折徒手定位时不稳定的弊端。

近年来,随着国内外各种骨科手术机器人系统的不断研发和功能改进,机器人辅助技术被广泛应用于骨科临床治疗,如脊柱手术、关节置换、创伤治疗等,推动了骨科手术向精准化、微创化发展,提高了手术质量^[16-17]。闭合复位内固定治疗股骨颈骨折通常选用空心加压螺钉作为内固定物。由于儿

童股骨颈较小,置入 3 枚空心钉满足倒三角平行分布的难度较大,故通常仅使用 2 枚空心钉进行平行分布固定。Wang 等^[18]研究发现,儿童股骨颈骨折进行内固定时使用 2 枚空心钉的患儿股骨头坏死的发生率低于使用 3 枚空心钉的患儿。在儿童股骨颈骨折手术中,骨科手术机器人能帮助医师进行手术规划和精准手术操作。术者将影像学数据传输至电脑系统后,可在系统中规划置钉路径,测量拟置入空心钉的长度和方向,随后通过机器人机械臂上套筒所导航的进针点和方向进行穿针操作,提高了置钉的准确度。在机器人辅助导航定位下行股骨颈骨折闭合复位内固定术,可避免传统徒手定位需要反复调整进针位置及方向的弊端,减少股骨近端的进一步损伤;同时可减少术中 X 线透视给患者和医护人员带来的副射损伤。

本研究存在一定的局限性:①本研究为回顾性研究,循证等级较低;②目前本院开展机器人手术系统辅助治疗儿童股骨颈骨折的时间尚短,未能获取更多病例进行比较;③部分病例随访时间较短,未能对远期治疗效果进行评估。期待后续能开展多中心临床随机对照研究,以更完善、更全面地评价机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗儿童股骨颈骨折的临床效果。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 郑育耿、马洪、李留阳负责数据收集、论文撰写;陈泳格、柯华荣、曾钰淇负责数据整理、统计学分析;李伟强、郭跃明负责研究指导、论文修改并对文章知识性内容进行审阅

参 考 文 献

- Beatty JH, Kasser JR, Flynn JM, et al. 洛克伍德-威尔金斯儿童骨折[M]. 黄耀添, 颜强, 赵黎, 等译. 第 7 版. 北京: 人民军医出版社, 2014: 725-731.
- Beatty JH, Kasser JR, Flynn JM, et al. Rockwood & Wilkins' Fractures in Children[M]. Huang YT, Jie Q, Zhao L, et al, translated. 7th ed. Beijing: People's Military Medical Press, 2014: 725-731.
- Ratliff AH. Fractures of the neck of the femur in children[J]. J Bone Joint Surg Br, 1962, 44-B: 528-542. DOI: 10. 1302/0301-620X. 44B3. 528.
- Palocaren T. Femoral neck fractures in children: a review[J]. Indian J Orthop, 2018, 52(5): 501-506. DOI: 10. 4103/ortho. IJOOrtho_404_17.
- Colonna PC. Fracture of the neck of the femur in childhood: a report of six cases[J]. Ann Surg, 1928, 88(5): 902-907. DOI: 10. 1097/00000658-192811000-00012.
- Moon ES, Mehlman CT. Risk factors for avascular necrosis after femoral neck fractures in children: 25 Cincinnati cases and meta-analysis of 360 cases[J]. J Orthop Trauma, 2006, 20(5): 323-329. DOI: 10. 1097/00005131-200605000-00005.
- Lim EJ, Kim BS, Kim M, et al. Open reduction versus closed reduction in internal fixation of displaced femoral neck fracture in children: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 49. DOI: 10. 1186/s13018-023-03525-x.
- Patterson JT, Tangtiphaiboonantana J, Pandya NK. Management of pediatric femoral neck fracture[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2018, 26(12): 411-419. DOI: 10. 5435/JAAOS-D-16-00362.
- Xu D, Lou WG, Li M, et al. Current status of robot-assisted surgery in the clinical application of trauma orthopedics in China: a systematic review[J]. Health Sci Rep, 2022, 5(6): e930. DOI: 10. 1002/hsr2. 930.
- Wang WT, Li YQ, Guo YM, et al. Risk factors for the development of avascular necrosis after femoral neck fractures in children: a review of 239 cases[J]. Bone Joint J, 2019, 101-B(9): 1160-1167. DOI: 10. 1302/0301-620X. 101B9. BJJ-2019-0275. R1.
- Yerli M, Ocak O, Yüce A, et al. Retrospective analysis of 35 pediatric femoral neck fractures[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2022, 32(7): 1385-1390. DOI: 10. 1007/s00590-021-03126-6.
- Barreto Rocha DF, Horwitz DS, Sintenie JB. Femoral neck fractures in children: issues, challenges, and solutions[J]. J Orthop Trauma, 2019, 33(Suppl 8): S27-S32. DOI: 10. 1097/BOT. 0000000000001645.
- Song KS. Displaced fracture of the femoral neck in children: open versus closed reduction[J]. J Bone Joint Surg Br, 2010, 92(8): 1148-1151. DOI: 10. 1302/0301-620X. 92B8. 24482.
- Pandey RA, John B. Current controversies in management of fracture neck femur in children: a review[J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11(Suppl 5): S799-S806. DOI: 10. 1016/j. jcot. 2020. 05. 029.
- Forster NA, Ramseier LE, Exner GU. Undisplaced femoral neck fractures in children have a high risk of secondary displacement[J]. J Pediatr Orthop B, 2006, 15(2): 131-133. DOI: 10. 1097/01. bpb. 0000188249. 17148. eb.
- Bali K, Sudesh P, Patel S, et al. Pediatric femoral neck fractures: our 10 years of experience[J]. Clin Orthop Surg, 2011, 3(4): 302-308. DOI: 10. 4055/cios. 2011. 3. 4. 302.
- Wang XD, Lan H, Li KN. Treatment of femoral neck fractures with cannulated screw invasive internal fixation assisted by orthopaedic surgery robot positioning system[J]. Orthop Surg, 2019, 11(5): 864-872. DOI: 10. 1111/os. 12548.
- Liebergall M, Ben-David D, Weil Y, et al. Computerized navigation for the internal fixation of femoral neck fractures[J]. J Bone Joint Surg Am, 2006, 88(8): 1748-1754. DOI: 10. 2106/JBJS. E. 00137.
- Wang WT, Li YQ, Xiong Z, et al. Effect of the number, size, and location of cannulated screws on the incidence of avascular necrosis of the femoral head in pediatric femoral neck fractures: a review of 153 cases[J]. J Pediatr Orthop, 2022, 42(3): 149-157. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000002018.

(收稿日期: 2023-03-01)

本文引用格式: 郑育耿, 马洪, 李留阳, 等. 机器人手术系统辅助闭合复位内固定术治疗儿童 Delbet II 型及 III 型股骨颈骨折[J]. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(12): 1164-1169. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202303002-013.

Citing this article as: Zheng YG, Ma H, Li LY, et al. Closed reduction and internal fixation for Delbet type II/III femoral neck fractures in children assisted by surgical robotic system[J]. J Clin Ped Sur, 2023, 22(12): 1164-1169. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202303002-013.